

## DYNAMO-ELECTRIC MACHINE

**Patent number:** JP2002112513

**Publication date:** 2002-04-12

**Inventor:** SAKAI KAZUTO; SHIN MASANORI; HATTORI  
TOMOYUKI

**Applicant:** TOSHIBA CORP

**Classification:**

- **international:** H02K19/10; H02K1/02; H02K1/18; H02K1/22; H02K1/27;  
H02K3/18; H02K15/06; H02K21/16

- **european:**

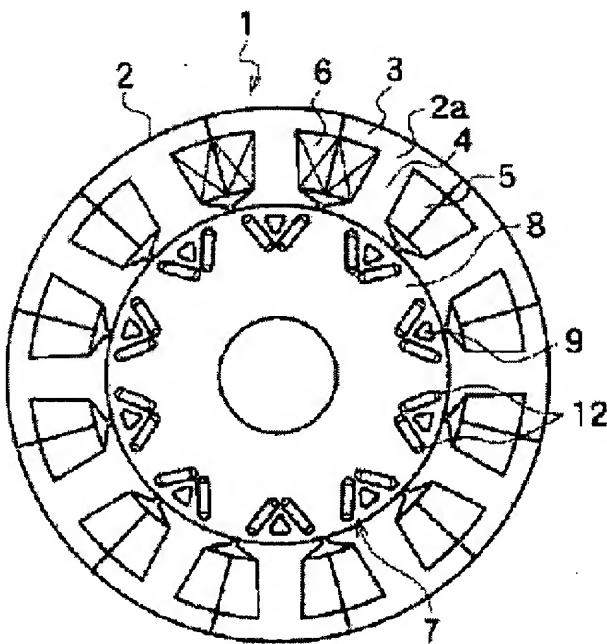
**Application number:** JP20000301082 20000929

**Priority number(s):**

### Abstract of JP2002112513

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a dynamo-electric machine capable of wide-range variable-speed operation, produces less electromagnetic vibrations, has high reliability, and superior manufacturing capability.

**SOLUTION:** The dynamo-electric machine is composed of a stator 1, formed by winding armature coils 6 around stator core teeth 4 in the internal peripheral part of a stator core 2, formed by arranging a plurality of magnetic materials of laminated anisotropic magnetic steel plates in circular form, and a rotor 7 formed, by arranging permanent magnets 12 inside a rotor core 8 having magnetic recesses and protrusions 10, 11 in the circumferential direction.



(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-112513

(P2002-112513A)

(43)公開日 平成14年4月12日 (2002.4.12)

| (51)Int.Cl. <sup>7</sup> | 識別記号  | F I          | マーク*(参考)          |
|--------------------------|-------|--------------|-------------------|
| H 02 K 19/10             |       | H 02 K 19/10 | A 5 H 0 0 2       |
| 1/02                     |       | 1/02         | Z 5 H 6 0 3       |
| 1/18                     |       | 1/18         | C 5 H 6 1 5       |
| 1/22                     |       | 1/22         | A 5 H 6 1 9       |
| 1/27                     | 5 0 1 | 1/27         | 5 0 1 A 5 H 6 2 1 |

審査請求 未請求 請求項の数22 O L (全 11 頁) 最終頁に統く

(21)出願番号 特願2000-301082(P2000-301082)

(71)出願人 000003078

株式会社東芝

東京都港区芝浦一丁目1番1号

(22)出願日 平成12年9月29日 (2000.9.29)

(72)発明者 堀 和人

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内

(72)発明者 新 政憲

神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内

(74)代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外7名)

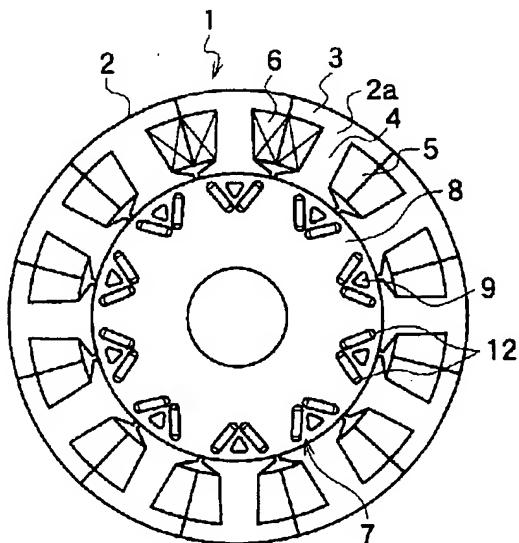
最終頁に統く

(54)【発明の名称】 回転電機

(57)【要約】

【課題】 広範囲の可変速運転が可能で電磁振動が小さく、信頼性が高く、製造性に優れた回転電機を提供する。

【解決手段】 異方性電磁鋼板を積層した複数個の磁性材を環状に配置して構成した固定子鉄心2に対してその内周部の固定子鉄心歯4に電機子コイル6を巻きつけた構成の固定子1と、周方向に磁気的凹凸10, 11を持つ回転子鉄心8内に永久磁石12を配置して構成した回転子7とで回転電機を構成した。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 異方性電磁鋼板を積層した複数個の磁性材を環状に配置して構成した固定子鉄心に対してその内周部の固定子鉄心歯に電機子コイルを巻きつけた構成の固定子と、周方向に磁気的凹凸を持つ回転子鉄心内に永久磁石を配置して構成した回転子とを備えて成る回転電機。

【請求項2】 異方性電磁鋼板を積層した複数個の磁性材を環状に配置して構成した固定子鉄心に対してその内周部の固定子鉄心歯に電機子コイルを巻きつけた構成の固定子と、周方向に磁気的凹凸を持つ回転子とを備えて成る回転電機。

【請求項3】 異方性電磁鋼板を積層した複数個の磁性材を環状に配置して構成した固定子鉄心に対してその内周部の固定子鉄心歯に電機子コイルを巻きつけた構成の固定子と、周方向に磁気的凹凸を持つように永久磁石が配置された回転子とを備えて成る回転電機。

【請求項4】 請求項1～3のいずれかに記載の回転電機において、前記固定子鉄心は、異方性電磁鋼板の磁化容易軸を一方向にそろえて積層して固定子鉄心歯とコアバックの一部を構成するようにした磁性材の適数個を、固定子の径方向断面で磁化容易軸が径方向に向くように環状に配置することによって構成したことを特徴とする回転電機。

【請求項5】 請求項4に記載の回転電機において、前記固定子鉄心歯の磁路長をコアバックの磁路長の1/2よりも長くしたことを特徴とする回転電機。

【請求項6】 請求項1～3のいずれかに記載の回転電機において、前記固定子鉄心は、異方性電磁鋼板の磁化容易軸を一方向にそろえて積層して固定子鉄心歯とコアバックの一部を構成するようにした磁性材の適数個を、固定子の径方向断面で磁化容易軸が周方向に向くように環状に配置することによって構成したことを特徴とする回転電機。

【請求項7】 請求項6に記載の回転電機において、前記固定子鉄心歯の磁路長をコアバックの磁路長の1/2よりも短くしたことを特徴とする回転電機。

【請求項8】 請求項1～3のいずれかに記載の回転電機において、前記固定子鉄心は、異方性電磁鋼板の磁化容易軸を一方向にそろえて積層して固定子鉄心歯の一部とコアバックの一部をそれぞれ分割して構成するようにした磁性材の適数個を、固定子鉄心歯は固定子の径方向断面で磁化容易軸が径方向に向くように、コアバックは固定子の径方向断面で磁化容易軸が周方向に向くようにして環状に配置することによって構成したことを特徴とする回転電機。

【請求項9】 請求項8に記載の回転電機において、径方向に磁化容易軸を持つ固定子鉄心歯の外周側先端は凸

形状とし、周方向に磁化容易軸を持つコアバックは内周側の一部に凹形状部を有して、前記凸形状の部分を前記凹形状部に嵌め込んで磁気回路を構成したことを特徴とする回転電機。

【請求項10】 請求項1～9のいずれかに記載の回転電機において、前記固定子鉄心として、帯状の異方性電磁鋼板にスロットの穴を多数抜いた抜き板を積層し、その後、折り曲げて環状に形成したものを用いたことを特徴とする回転電機。

【請求項11】 請求項10に記載の回転電機において、前記固定子鉄心は、帯状の電磁鋼板にスロットの穴を多数抜いた抜き板を積層した後、導体を巻き付けた絶縁物のボビンを前記帯状の積層した鉄心のスロット間の凸部に嵌め込み、その後、帯状の積層した鉄心を折り曲げて環状に形成したものを用いたことを特徴とする回転電機。

【請求項12】 請求項1、3～11のいずれかに記載の回転電機において、前記回転子は、周方向の回転位置により磁気抵抗が異なり、磁気抵抗の高い部分を通る電機子電流による磁束を打ち消すように永久磁石を回転子鉄心に設けた構成とし、前記永久磁石は、前記回転子の磁化容易方向とは異なる方向に磁化されており、その発生する空隙磁束密度の基本波の振幅値を0.3～0.8[T]であることを特徴とする回転電機。

【請求項13】 請求項1、3～12のいずれかに記載の回転電機において、前記回転子は、周方向において構造的に凹凸を持つ回転子鉄心で構成され、前記構造的な凹部を通る電機子電流の磁束を打ち消すように磁化された永久磁石を回転子鉄心の前記凹部に配置したことを特徴とする回転電機。

【請求項14】 請求項13に記載の回転電機において、前記回転子鉄心の凹部に配置された前記永久磁石の厚みは前記凹部の深さよりも薄くして、前記構造的な凸部の磁気的空隙長よりも前記凹部の永久磁石から見た磁気的空隙長を長くしたことを特徴とする回転電機。

【請求項15】 請求項14に記載の回転電機において、前記回転子の永久磁石の空隙側表面に磁性材を配置したことを特徴とする回転電機。

【請求項16】 請求項13に記載の回転電機において、前記磁気的凹部における構造的空隙長と前記磁気的凸部における構造的空隙長を同一にしたことを特徴とする回転電機。

【請求項17】 請求項12～16のいずれかに記載の回転電機において、磁気的に凸となる部分の磁極鉄心幅を磁極ピッチの0.3から0.4倍としたことを特徴とする回転電機。

【請求項18】 請求項12～17のいずれかに記載の回転電機において、最大トルク時で、電流当たりトルクが最大となる状態で電流の位相を設定し、凹部に対応する電機子コイルに鎖交する電流と永久磁石による合成磁

束は永久磁石の磁束で相殺されてしまうようにしたことを特徴とする回転電機。

【請求項19】 請求項1, 3~18のいずれかに記載の回転電機において、回転子の永久磁石はフェライト磁石で構成することを特徴とする回転電機。

【請求項20】 請求項1, 3~18のいずれかに記載の回転電機において、前記回転子の永久磁石がフェライト磁石とNdFeB磁石とを組み合わせたものであることを特徴とする回転電機。

【請求項21】 請求項1~20のいずれかに記載の回転電機において、前記回転子の極数と前記固定子鉄心歯又はスロット数との関係を、8極では15又は18スロットとし、10極では12又は18スロットとし、14極では24スロットとなるように固定子鉄心を構成したことを特徴とする回転電機。

【請求項22】 回転子の極数と固定子歯又はスロット数との関係を、8極では15又は18スロットとし、10極では12又は18スロットとし、14極では24スロットとなるように固定子鉄心を構成したことを特徴とする回転電機。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は回転電機に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 従来の同期電動機で、可变速運転を行う代表的なものとして、リラクタンス型回転電機と永久磁石式回転電機がある。リラクタンス型回転電機は図13に示すような構造である。このリラクタンス型回転電機は、外側の固定子1と内側の回転子7から構成される。そして固定子1は、固定子鉄心2を多数枚積層した構造である。各固定子鉄心2の内側には多数の鉄心歯4が設けられていて、隣接する鉄心歯4間にコイルスロット5が形成されている。鉄心歯4に巻装された電機子コイル6はコイルスロット5内に収容されている。一方、回転子7は、周方向(回転方向)に凹凸のある鉄心8のみで構成されている。このような構造のリラクタンス型回転電機は、上述したように回転子7に界磁を形成するコイルが不要であり、凹凸のある回転子鉄心8のみで構成できるため、構造が簡素であり、かつ安価に製造できる特徴がある。

【0003】 リラクタンス型回転電機の回転出力の発生原理は、次の通りである。リラクタンス型回転電機の回転子7には凹凸があることにより、凸部11で磁気抵抗が小となり、凹部10では磁気抵抗が大となる。すなわち、凸部11上の空隙部分と凹部10上の空隙部分とでは、電機子コイル6に電流を流すことにより蓄えられる随伴磁気エネルギーが異なる。この円周方向での随伴磁気エネルギーの変化により、回転出力が発生する。また、凸部11と凹部10は構造的のみでなく、磁気的に凹凸が形成できる形状又は構造、つまり構造的には周方

向に凹凸がなくても、磁気抵抗や磁束密度分布が回転子7の周方向の位置により異なる構造であればよい。

【0004】 他の高性能な回転電機である永久磁石式回転電機の場合、電機子の構造はリラクタンス型回転電機とほぼ同様であるが、回転子はそのほぼ全周に渡り永久磁石が配置された構造である。

##### 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 このような従来のリラクタンス型回転電機、永久磁石式回転電機には、次のような技術課題があった。リラクタンス型回転電機は回転子鉄心の周面の凹凸により回転子の回転角度位置で磁気抵抗が異なり、空隙磁束密度も変化することになる。この変化により磁気エネルギーが変化して出力が得られるのである。しかし、電流が増加すると共に固定子鉄心及び回転子の磁極となる鉄心の凸部(d軸)11において局部的な磁気飽和が拡大する。これにより、磁極間となる鉄心の凹部(q軸)10に漏れる磁束が増加して、有効な磁束は減少して出力が低下する。このため、コイル電流の増加率に対して出力の増加率が低下し、やがて出力は飽和する。また、q軸の漏れ磁束は無効な電圧を誘起して力率を低下させる。

【0006】 一方、永久磁石式回転電機の場合、回転子鉄心の表面に高磁気エネルギー積の永久磁石を配置しているために高磁界を磁気空隙に形成でき、小形・高出力が可能である。しかし、永久磁石の磁束は一定であるので、電機子コイルに誘導される電圧は回転速度に比例して大きくなる。したがって、高速回転までの広範囲の可变速運転を行う場合、界磁磁束を減らすことができないため、電源電圧を一定とすると基底速度の2倍以上の定出力運転は困難である。

【0007】 本発明はこのような従来の小型・高出力のリラクタンス型回転電機、永久磁石式回転電機の技術的課題を解決するためになされたもので、広範囲の可变速運転が可能で電磁振動が小さく、信頼性が高く、製造性に優れた回転電機を提供することを目的とする。

##### 【0008】

【課題を解決するための手段】 請求項1の発明の回転電機は、異方性電磁鋼板を積層した複数個の磁性材を環状に配置して構成した固定子鉄心に対してその内周部の固定子鉄心歯に電機子コイルを巻きつけた構成の固定子と、周方向に磁気的凹凸を持つ回転子鉄心内に永久磁石を配置して構成した回転子とを備えたものである。

【0009】 請求項2の発明の回転電機は、異方性電磁鋼板を積層した複数個の磁性材を環状に配置して構成した固定子鉄心に対してその内周部の固定子鉄心歯に電機子コイルを巻きつけた構成の固定子と、周方向に磁気的凹凸を持つ回転子とを備えたものである。

【0010】 請求項3の発明の回転電機は、異方性電磁鋼板を積層した複数個の磁性材を環状に配置して構成した固定子鉄心に対してその内周部の固定子鉄心歯に電機

子コイルを巻きつけた構成の固定子と、周方向に磁気的凹凸を持つように永久磁石が配置された回転子とを備えたものである。

【0011】請求項4の発明は、請求項1～3の回転電機において、前記固定子鉄心として、異方性電磁鋼板の磁化容易軸を一方向にそろえて積層して固定子鉄心歯とコアバックの一部を構成するようにした磁性材の適数個を、固定子の径方向断面で磁化容易軸が径方向に向くように環状に配置することによって構成したもの用いたものである。

【0012】請求項5の発明は、請求項4の回転電機において、前記固定子鉄心歯の磁路長をコアバックの磁路長の1/2よりも長くしたものである。

【0013】請求項6の発明は、請求項1～3の回転電機において、前記固定子鉄心として、異方性電磁鋼板の磁化容易軸を一方向にそろえて積層して固定子鉄心歯とコアバックの一部を構成するようにした磁性材の適数個を、固定子の径方向断面で磁化容易軸が周方向に向くように環状に配置することによって構成したもの用いたものである。

【0014】請求項7の発明は、請求項6の回転電機において、前記固定子鉄心歯の磁路長をコアバックの磁路長の1/2よりも短くしたものである。

【0015】請求項8の発明は、請求項1～3の回転電機において、前記固定子鉄心として、異方性電磁鋼板の磁化容易軸を一方向にそろえて積層して固定子鉄心歯の一部とコアバックの一部をそれぞれ分割して構成するようにした磁性材の適数個を、固定子鉄心歯は固定子の径方向断面で磁化容易軸が径方向に向くように、コアバックは固定子の径方向断面で磁化容易軸が周方向に向くようにして環状に配置することによって構成したもの用いたものである。

【0016】請求項9の発明は、請求項8の回転電機において、径方向に磁化容易軸を持つ固定子鉄心歯の外周側先端は凸形状とし、周方向に磁化容易軸を持つコアバックは内周側の一部に凹形状部を有して、前記凸形状の部分を前記凹形状部に嵌め込んで磁気回路を構成したものである。

【0017】請求項10の発明は、請求項1～9の回転電機において、前記固定子鉄心として、帯状の異方性電磁鋼板にスロットの穴を多数抜いた抜き板を積層し、その後、折り曲げて環状に形成したもの用いたものである。

【0018】請求項11の発明は、請求項10の回転電機において、前記固定子鉄心として、帯状の電磁鋼板にスロットの穴を多数抜いた抜き板を積層した後、導体を巻き付けた絶縁物のボビンを前記帯状の積層した鉄心のスロット間の凸部に嵌め込み、その後、帯状の積層した鉄心を折り曲げて環状に形成したもの用いたものである。

【0019】請求項12の発明は、請求項1、3～11の回転電機において、前記回転子を、周方向の回転位置により磁気抵抗が異なり、かつ磁気抵抗の高い部分を通る電機子電流による磁束を打ち消すように永久磁石を回転子鉄心に設けた構成とし、前記永久磁石は、前記回転子の磁化容易方向とは異なる方向に磁化されており、その発生する空隙磁束密度の基本波の振幅値を0.3～0.8[T]であることを特徴とするものである。

【0020】請求項13の発明は、請求項1、3～12の回転電機において、前記回転子を、周方向において構造的に凹凸を持つ回転子鉄心で構成し、かつ前記構造的な凹部を通る電機子電流の磁束を打ち消すように磁化された永久磁石を回転子鉄心の前記凹部に配置したものである。

【0021】請求項14の発明は、請求項13の回転電機において、前記回転子鉄心の凹部に配置された前記永久磁石の厚みを前記凹部の深さよりも薄くして、前記構造的な凸部の磁気的空隙長よりも前記凹部の永久磁石から見た磁気的空隙長を長くしたものである。

【0022】請求項15の発明は、請求項14の回転電機において、前記回転子の永久磁石の空隙側表面に磁性材を配置したものである。

【0023】請求項16の発明は、請求項13の回転電機において、前記磁気的凹部における構造的空隙長と前記磁気的凸部における構造的空隙長を同一にしたものである。

【0024】請求項17の発明は、請求項12～16の回転電機において、磁気的に凸となる部分の磁極鉄心幅を磁極ピッチの0.3から0.4倍としたものである。

【0025】請求項18の発明は、請求項12～17の回転電機において、最大トルク時で、電流当たりトルクが最大となる状態で電流の位相を設定し、凹部に対応する電機子コイルに鎖交する電流と永久磁石による合成磁束を永久磁石の磁束で相殺されてほぼ零となるようにしたものである。

【0026】請求項19の発明は、請求項1、3～18の回転電機において、回転子の永久磁石をフェライト磁石で構成したものである。

【0027】請求項20の発明は、請求項1、3～18の回転電機において、前記回転子の永久磁石として、フェライト磁石とNdFeB磁石とを組み合わせたものを用いたものである。

【0028】請求項21の発明は、請求項1～20の回転電機において、前記回転子の極数と前記固定子鉄心歯又はスロット数との関係を、8極では15又は18スロットとし、10極では12又は18スロットとし、14極では24スロットとなるように固定子鉄心を構成したものである。

【0029】請求項22の発明の回転電機は、回転子の極数と固定子歯又はスロット数との関係を、8極では1

5又は18スロットとし、10極では12又は18スロットとし、14極では24スロットとなるように固定子鉄心を構成したものである。

### 【0030】

【発明の実施の形態】<第1の実施の形態>図1は本発明の第1の実施の形態の回転電機の径方向断面図である。第1の実施の形態の回転電機は、外側の固定子1と内側の回転子7から構成される。固定子1は、電磁鋼板を積層した固定子鉄心2と電機子コイル6から成る。そして固定子鉄心2は、分割された鉄心ブロック2aから成る。

【0031】固定子鉄心2の製作方法は次の通りである。まず1つの鉄心歯4と共に磁気的に連なるコアバック3の一部から成る異方性電磁鋼板を積層して1つの鉄心ブロック2aを作り、同じ構造の12個の鉄心ブロック2aを環状に配置することによって固定子鉄心2を構成する。その際、図2に示すように鉄心ブロック2aの異方性電磁鋼板の磁化容易軸dが鉄心歯4の長手方向、つまり、鉄心ブロック2aを環状に配置したときに磁化容易軸20が径方向にそろうようにしている。

【0032】鉄心ブロック2aを上述のようにして環状に配列して固定子鉄心2を構成することにより、隣接する鉄心ブロック2aの鉄心歯4間に空隙、つまり、コイルスロット5が自ずと形成されることになる。そこで、固定子鉄心2では、各鉄心歯4を中心に12個のコイル6が巻きつけられて、コイルスロット5に収容されている。

【0033】図1及び図3に示すように、回転子7は回転子鉄心8の外周近い部分に永久磁石12を埋め込んだ構造である。回転子鉄心8は、周方向に磁気的な凹凸を形成するために、外周近い部分に等間隔に10個の空洞部9が設けられた円盤状の無方向性電磁鋼板を積層して構成してある。回転子7に磁気的な凹凸が形成されているため、コイル6の電流による磁化の容易方向d軸と困難方向q軸が生じる。空洞部9が設けられた領域は磁気的な凹部10となり、q軸方向となる。そして隣接する磁気的な凹部10に挟まれた部分が磁気的な凸部11となり、d軸方向となる。回転子7の回転子鉄心8内には、さらにフェライト永久磁石12が凹部10を挟み込むようにV字状に埋め込まれている。永久磁石12の磁化方向はq軸方向の電機子電流による磁束を相殺する方向で磁化される。このとき、100°Cの温度状態で永久磁石の空隙磁束密度は基本波の振幅値で0.35[T]である。この永久磁石12にNdFeB磁石を適用した場合、空隙磁束密度は基本波の振幅値で0.68[T]である。

【0034】次に、上記の構成の回転電機の動作について説明する。磁気抵抗の大きさの周方向での変化が回転子の形状により形成され、回転子7の外周部分には磁気的な凹凸が周方向に生じる。回転子7のd軸の凹部11

では空隙磁束密度が高く、q軸の凹部10では空隙磁束密度が低くなる。この磁束密度変化によりリラクタンストルクが発生する。

【0035】リラクタンストルクは磁束量の変化で生じるため、鉄心の磁気飽和が生じるとトルクが低下する。本実施の形態では、主磁束となるd軸方向の磁束は回転子7の磁気的凸部11とd軸磁束ブリッジ13の端部を通るため、主磁束は全ての固定子鉄心歯4に均等には分布せず、磁気飽和が局所的に生じやすい。本実施の形態ではこれを避けるために、径方向に磁化容易軸20が形成できるように、分割された磁気異方性の電磁鋼板の鉄心ブロック2aを環状に配置している。これにより、磁束が集中して磁気飽和を生じやすい鉄心歯4は、径方向に流れる磁束が主であり、電磁鋼板の磁化容易軸20の方向と一致するので鉄心歯4の飽和磁束密度が2.1[T]まで高くとれる。

【0036】この結果、コイル6のアンペアターンを大きくした場合でも、固定子鉄心歯4の磁気抵抗は小となるため、磁気回路中の全磁気抵抗に対して回転子7の磁気的凹凸による磁気抵抗の変化が大きくなり、回転子7の磁気的凹凸による磁束の変化幅が大となることによってトルクが増加する。

【0037】一方、鉄心ブロック2aのコアバック3での磁束は周方向となるので、電磁鋼板の透磁率は低い値となり、磁気抵抗が高くなる。そこで、固定子鉄心歯4の磁路長がコアバック3の磁路長の1/2よりも長くなるように形状を定めることにより、異方性電磁鋼板によるコアバック3での磁気抵抗を小さくし、磁気回路の全磁気抵抗に対する回転子7の磁気抵抗変化幅が小とならないよう抑制している。

【0038】さらに本実施の形態では、回転子7におけるq軸となる凹部10の鉄心8内に永久磁石12があり、q軸方向に分布するq軸電流による磁束を永久磁石12の磁束で相殺するため、凹部10の空隙磁束密度はさらに小となる。これにより、凸部11と凹部10の空隙磁束密度変化が大となり、リラクタンストルクは大きくなると共に力率も向上する。

【0039】なお、図1及び図3に示した回転子7は、回転子鉄心8の外周部近くに空洞部9を形成することによって回転子7の周方向に磁気的凹凸を形成する構造にしているが、回転子7の周方向に設ける凹凸は定性的に磁気的な凹凸となればよいものである。したがって、図4に示したように、回転子鉄心8の表面に構造的な凹部15を設けることにより、回転子7の周方向で磁気抵抗が変化する構造にしてもよい。この構造の場合、回転子7内に永久磁石12が配置され、同時にd軸磁束ブリッジ13も形成されるので、上述した図3に示した構造の回転子7と同様に動作する。

【0040】また第1の実施の形態の回転電機では、リラクタンス型回転電機に適用することができ、それに応

じた仕様に設計することにより、回転子の磁気抵抗変化に対する空隙磁束の変化率が高くとれるので、トルクが増加する。また、第1の実施の形態の回転電機は、永久磁石式回転電機に適用することもでき、それに応じた仕様に設計することにより、磁気抵抗変化を利用したリラクタンストルクではないのでトルク改善の効果は顕著ではないが、永久磁石の磁束が増加するので、トルクが増加する。

【0041】加えて、図3の回転子7の拡大図に示すように、d軸11の磁極鉄心の幅 $\alpha$ は磁極ピッチ（隣合う磁極間10の距離、又は凸部11と凹部12を合わせた長さ）の0.3～0.4倍とすることができます。この幅に設定するとd軸インダクタンスLdとq軸インダクタンスLqの差Ld-Lqが大となり、リラクタンストルクを大きくすることができます。

【0042】また、本実施の形態の回転電機のトルクを式で表現すると次のようになる。

【0043】

$$【数1】 T(トルク) = P \times (L_d \cdot I_d + L_q \cdot I_q - (L_d \cdot I_q - \psi_m) \cdot I_d)$$

ここで、Ld, Lq : d軸, q軸のインダクタンス、Id, Iq : d軸, q軸の電流、ψm : 永久磁石の鎖交磁束である。

【0044】ここで、最大トルク時で、電流当たりトルクが最大となる状態で電流の位相を設定し、凹部10に対応する電機子コイル6に鎖交する電流と永久磁石12による合成磁束は永久磁石12の磁束で相殺されて-0.1～+0.1 [T] になるように永久磁石12の厚みと空洞部9の大きさ又は構造的凹部15の深さを決定する。これにより、数2式に示すようにq軸磁束入qはほぼ0となるので、

$$【数2】 \lambda_q = L_q \cdot I_q - \psi_m = 0$$

負荷時の電圧はd軸電圧のみとなり、力率を向上できる。同時に、数1式のトルク式から分かるように、q軸磁束入qは負のトルクを発生しており、凹部10に漏れる磁束である入qの磁束を減少させることにより、入qによる負のトルクを減少させてトルクも増加させることができる。

【0045】さらに、q軸磁束はほぼ零であるので、q軸磁束で誘導されるd軸電圧は零であり、基本的にはd軸電流のみで電圧を調整できるので、高速まで広範囲で可変速運転が可能となる。加えて、少ない磁束で出力を発生するので、力率が高くなり、鉄損も減少する。さらに加えて、固定子鉄心2のコアバック3を通る全磁束は少なくなるので、鉄心コアバック3の磁気飽和も緩和されて出力も向上し、高速回転時での鉄損も低減できる。

【0046】このとき、本回転電機では、永久磁石12は周囲を磁性の鉄心8に覆われ、積極的に磁気的な短絡を形成できる形状の磁気回路となっている。これより、本回転電機では、永久磁石12の反磁界は小となり、q

軸の鎖交磁束を零にしても回転子鉄心8内には永久磁石12の磁束が分布しており、永久磁石12が磁気特性上の安定な点で動作することになり、不可逆減磁することがない。

【0047】さらに、一般的な永久磁石式電動機、埋め込み型永久磁石式電動機（IPM）では永久磁石の空隙磁束密度は約1[T]程度と高く、誘起電圧も高くなる。また、鉄損も大である。これに対して、本実施の形態の回転電機では、フェライト永久磁石12の鎖交磁束が0.35[T]程度であり、永久磁石式電動機の磁束の1/3でも大きな出力が得られるため、次のような利点がある。

【0048】(1) 高速回転で過大な誘起電圧を発生しないため、過電圧インバータのパワー素子やコンデンサを破損することがはない。

【0049】(2) d軸電流が主に磁界を形成する励磁電流であり、q軸電流はトルク電流となる。したがって、高速回転になるにつれて、励磁電流であるd軸電流を小さくすれば一定電圧で高速回転まで容易に運転できる。このため、永久磁石式電動機のように永久磁石の磁束による過大な誘起電圧を打ち消すような弱め磁束のための大きな電流を流す必要はない。また、弱め磁束で生じる高周波鉄損も僅かである。

【0050】(3) 運転状態に応じて、d軸の励磁電流とq軸のトルク電流を変化させることができ、最適な状態で運転できるので、軽負荷から高負荷、低速から高速回転まで広範囲で効率が向上する。さらに、エンジン等に直結された構成において、回転電機が無作動中に回転させられる状態でも永久磁石による磁束は僅かであるので、誘起電圧抑制のための電流は不要であり鉄損も僅かであり、システムの運転効率が向上する。

【0051】(4) 永久磁石12によるコイルの鎖交磁束は少ないので、コイルが電気的に短絡した状態で回転しても過大な短絡電流は流れず、コイルを焼損することがない。電気自動車、電車等の駆動電動機に適用した場合でも、短絡故障時に急ブレーキが作用することがなく、また回転時のブレーキ力は僅かであるので牽引することができる。

【0052】(5) 仮に、永久磁石12が不可逆減磁しても、本回転電機ではリラクタンストルクが主であるので、出力は低下するが、純粹なリラクタンス型電動機として駆動することができる。

【0053】<第2の実施の形態>次に、本発明の第2の実施の形態の回転電機について、図5に基づいて説明する。第2の実施の形態の回転電機は、図5に示すように固定子の構造に特徴を有している。すなわち、1つの固定子鉄心4と磁気的に連なるコアバック3を異方性電磁鋼板の磁化容易軸20を一方向にそろえて積層して分割された鉄心ブロック2aを作っている。この場合、電磁鋼板の抜き板が図5に示すように磁化容易軸20が

断面の周方向に向くようにして打ち抜かれ、積層される。そして積層した鉄心ブロック2aを環状に配置することによって、第1の実施の形態と同様に図1に示した構造の固定子鉄心2を構成する。

【0054】第2の実施の形態においても、固定子鉄心歯4の磁路長はコアバック3の磁路長の1/2よりも短くしてある。固定子1のコアバック3は、磁束の流れる方向と電磁鋼板の磁化容易軸とが同方向であるので磁気抵抗が小となる。鉄心歯4は電磁鋼板の磁化困難軸方向となるが、磁路長を短くすることによって磁気抵抗の増加幅を小さくすることができる。

【0055】これにより、かかる構造の固定子を用いて組み立てた第1の実施の形態と同様の図1に示す構造の回転電機では、磁気回路中の全磁気抵抗に対する回転子7の磁気抵抗幅が大きくなる。つまり、回転子7の磁気抵抗変化に対する空隙磁束の変化率が高くとれるので、トルクが増加する。

【0056】<第3の実施の形態>次に、本発明の第3の実施の形態の回転電機について、図6に基づいて説明する。第3の実施の形態の回転電機は、図6に示すように固定子の構造に特徴を有している。すなわち、異方性電磁鋼板の磁化容易軸20を一方向にそろえて積層して1個の固定子鉄心歯4と1個のコアバック3をそれぞれ分割して構成し、鉄心歯4では固定子1の径方向断面で磁化容易軸20が径方向に向くように、コアバック3では固定子1の径方向断面で磁化容易軸20が周方向に向くようにする。そして各々12個を環状に連結して、第1の実施の形態と同様に図1に示した構造の固定子鉄心2を構成している。

【0057】かかる構造の固定子2を用いて組み立てた回転電機では、鉄心歯4とコアバック3では磁束の流れる方向と電磁鋼板の磁化容易軸20が同方向であるので固定子鉄心2の磁気抵抗が小となる。これにより、磁気回路中の全磁気抵抗に対する回転子の磁気抵抗幅が大きくなる。つまり、回転子7の磁気抵抗変化に対する空隙磁束の変化率が高くとれるので、トルクが増加する。

【0058】なお、第3の実施の形態においては、固定子鉄心2を構成する鉄心ブロック2aの構造を図7に示すものとすることができる。図7に示した鉄心ブロック2aの場合、径方向に磁化容易軸20を持つ鉄心歯4の外周側先端は凸形状とし、周方向に磁化容易軸20を持つコアバック3は内周側の一部に凹形状部を有して、凸形状の部分を凹形状部に嵌めて磁気回路を構成している。これにより鉄心歯4の径方向に流れる磁束は隣接する近傍のコアバック3の近くではほぼ均一に周方向に向きを変えることができ、磁束の集中を避けることができ、鉄損の低減とトルクの増加が図れる。

【0059】<第4の実施の形態>次に、本発明の第4の実施の形態の回転電機について、図8に基づいて説明する。第4の実施の形態の特徴は、回転電機の固定子1

の製造方法に特徴を有している。本実施の形態の場合、固定子1は次の方法で製造する。

【0060】帯状の電磁鋼板2'にスロット5の形状の穴を多数抜き、その抜き板を積層した後、コイル6を巻き付けた絶縁物のボビン14を積層した状態の鉄心歯4に次々に嵌め込む。その後、帯状鉄心2'を折り曲げて環状とし、固定子鉄心2を構成すると同時に固定子1を構成するのである。

【0061】なお、環状の固定子鉄心2にしたときのスロット5のスペースはコイル6が全て埋め尽くすようになるため、ボビン14には外周側が広がって台形状になるまでコイル銅線を巻いてある。コイル銅線はボビン14を回転させて巻くので高い引っ張り力をかけて巻くことができ、コイル6の占積率を高くできる。また、固定子鉄心歯4が平行歯の形状なので、ボビン14を2分割することなくコイル6を巻いた状態で固定子歯4に挿入できる。

【0062】さらに、内周側が狭く外周側の広いスロット5となる環状の固定子鉄心2には台形状のボビン14を挿入することはできないが、本製造方法の場合、帯状で矩形にスロット5を抜いた鉄心2'の状態でボビン14を鉄心歯4に嵌め込むので、スロット5の開口側の幅は環状にされた状態でのスロット5の外周側(奥側)の幅とほぼ同寸法である。したがって、台形状にコイル6が巻かれたボビン14を嵌め込むことができるのである。

【0063】<第5の実施の形態>次に、本発明の第5の実施の形態の回転電機について、図9に基づいて説明する。第5の実施の形態の特徴は、回転電機の回転子7の構造に特徴を有している。図9は第5の実施の形態の回転電機の回転子7の磁極間10と磁極11を示す径方向断面図である。回転子鉄心8は周方向で構造的に凹凸ができるように一定回転角度ごとの位置に構造的な凹部15が形成された電磁鋼板を積層して構成されている。磁極間(磁気的凹部)10を通る電機子電流の磁束を打ち消すように磁化されたNdFeB永久磁石12が、回転子鉄心8の構造的な凹部15に配置されている。この永久磁石12の厚みは凹部15の深さよりも薄くすることによって、磁極(磁気的凸部)11における磁気的空隙長よりも磁極間10における永久磁石12から見た磁気的空隙長を長くしている。また、永久磁石12が発生する空隙磁束密度の基本波の振幅値は0.70[T]としている。

【0064】このような構造の回転子を備えた第5の実施の形態の回転電機の場合、図1～図3に示した第1の実施の形態の回転電機よりもトルク、磁石の耐減磁力が若干低下するが、それでも同様な作用効果が得られる。また、回転子7において中空にできる部分が広く取れるので、構造的に低慣性にできる利点がある。

【0065】なお、第5の実施の形態の回転電機におい

ては、回転子7を図10に示した構造にすることができる。すなわち、回転子鉄心8の外周部に等間隔に周方向に幅広となる空洞部17を形成し、その中に永久磁石12を挿入した構造とするのである。これにより、回転子鉄心8における磁気的な凹部10における永久磁石12よりも外側の部分にも磁性材16が存在することになる。回転子8を図10のような構造にすれば、図9に示した構造の回転子8と比較して、リラクタンストルクは若干低下することになるが、耐減磁力が向上し、永久磁石12よりも外周側の磁性材16によって永久磁石12を確実に保持することができ、さらには空隙高調波磁束による渦流損の低減も図れる。

【0066】また第5の実施の形態では、図11に示すように、回転子鉄心8の構造的凹部15の深さとほぼ等しい厚みの永久磁石12をその凹部15に埋め込んだ構造にすることができる。これにより、回転子鉄心8の周囲の磁気的凹部10の磁気的空隙長と磁気的凸部11の磁気的空隙長は等しくなり、永久磁石12の磁束が強くなるので、図9の構造のものよりもリラクタンストルクは低下するが、永久磁石12によるトルクが増加する。また、図10の構造のものよりも空隙高調波磁束による渦電流損は増加することになるが、従来のものに比べて、これら図9及び図10に構造の回転子7を備えた回転電機と同様の作用効果を奏する。

【0067】<第6の実施の形態>次に、本発明の第6の実施の形態の回転電機について、図12に基づいて説明する。第6の実施の形態は回転子7の構造に特徴を有している。図12は本発明の第6の実施の形態の永久磁石補助式リラクタス型回転電機に採用する回転子7の磁極部11及び磁極間12を示す径方向断面である。回転子7の永久磁石12は上層を4MGOeの磁気エネルギー一積を持つフェライト磁石12a、下層を3.5MGOeの磁気エネルギー積を持つNdFeB磁石12bとして構成している。

【0068】フェライト磁石12aは0°C以下で急激に磁力が低下し、NdFeB磁石12bは150°C以上で急激に低下する。本実施の形態では、フェライト磁石12aはその保磁力がNdFeB磁石12bと同程度になるように両磁石の厚みの比率を設定してある。

【0069】これにより、低温環境下や高温環境下で回転電機を使用しても、永久磁石の不可逆減磁なく、運転が可能となる。さらに、永久磁石12の空隙側表面側には、NdFeB磁石12bと比較して100倍程度高い電気抵抗を持つフェライト磁石12aが存在する構造であるので、電流による高調波磁界で生じる渦電流を低減でき、永久磁石12の温度上昇を抑制すると共に高温減磁も起り難くなる。

【0070】なお、上層のフェライト磁石12a、下層のNdFeB磁石12bを入れ替えてよく、さらに磁石をさらに多層構造としてもよく、また、横方向に交互

に配置しても、低温時と高温時に回転電機を使用しても永久磁石12の不可逆減磁なく、運転が可能となるという作用効果が得られる。

【0071】<第7の実施の形態>上記のいずれの実施の形態の回転電機においても、回転子7の極数と固定子鉄心歯4又はスロット5の数との関係を、8極では15又は18スロットとし、10極では12又は18スロットとし、14極では24スロットとなるように固定子鉄心2の構成とすることができる。これにより、分数溝によって回転電機内の基本波よりも低次の磁界が抑制でき、特に2極の磁界を抑制でき、かつ高出力が得られるようになる。

【0072】なお、上述した極数と固定子鉄心のスロット数との関係は、一般的な回転電機に対しても広く適用することができ、それによって上述した作用効果を奏する。

### 【0073】

【発明の効果】本発明によれば、固定子鉄心歯の局所的な磁気飽和の影響を緩和して回転子位置によりインダクタンスの差が大きな回転電機が得られ、さらにq軸電流による磁束を永久磁石で相殺してほぼ零にすることにより、高出力、高効率が可能となる。永久磁石の磁束量が少なくても高出力が得られ、フェライト磁石の適用が可能となる。また、励磁電流成分により回転電機内の磁束量を調整できるため、負荷に合わせた最適な状態で駆動でき、軽負荷から高負荷、低速から高速までの広範囲で効率の良い運転ができる。

【0074】また本発明によれば、永久磁石の減磁、永久磁石の誘起電圧によるインバータの破損、急ブレーキ、永久磁石が減磁状態になつても駆動が可能等の多くの面で信頼性が向上できる。

【0075】また本発明によれば、台形状のボビンを挿入して固定子を組み立てることができるので、高出力とともに製造性も容易である。

【0076】さらに本発明によれば、特定の極数対スロット数で固定子鉄心を構成することにより、電磁振動の低減と高出力が可能である。

### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施の形態の回転電機の径方向断面図。

【図2】上記の第1の実施の形態における固定子鉄心を構成する鉄心ブロックを示す径方向断面図。

【図3】上記の第1の実施の形態における回転子の構造を示す径方向断面図。

【図4】上記の第1の実施の形態において採用する回転子の別の構造を示す径方向断面図。

【図5】本発明の第2の実施の形態において採用する回転子の構造を示す径方向断面図。

【図6】本発明の第3の実施の形態において採用する回転子の構造を示す径方向断面図。

【図7】上記の第3の実施の形態において採用する回転子の別の構造を示す径方向断面図。

【図8】本発明の第4の実施の形態の回転電機における固定子の製造方法の説明図。

【図9】本発明の第5の実施の形態の回転電機における回転子の構造を示す径方向断面図。

【図10】上記の第5の実施の形態において採用する回転子の別の構造を示す径方向断面図。

【図11】上記の第5の実施の形態において採用する回転子のさらに別の構造を示す径方向断面図。

【図12】本発明の第6の実施の形態の回転電機における回転子の構造を示す径方向断面図。

【図13】従来のリラクタンス型回転電機の径方向断面図。

【符号の説明】

1…固定子

2…固定子鉄心

2'…帶状鉄心

2 a…鉄心ブロック

3…コアバック

4…固定子鉄心歯

5…スロット

6…コイル

7…回転子

8…回転子鉄心

9…空洞部

10…磁気的凹部 (q軸)

11…磁気的凸部 (d軸)

12…永久磁石

12 a…フェライト永久磁石

12 b…NdFeB永久磁石

13…d軸磁束ブリッジ

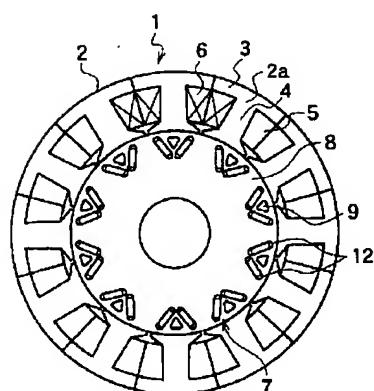
14…ボビン

15…構造的凹部

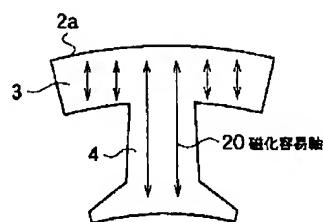
16…磁性材

20…磁化容易軸

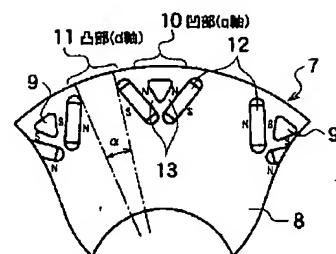
【図1】



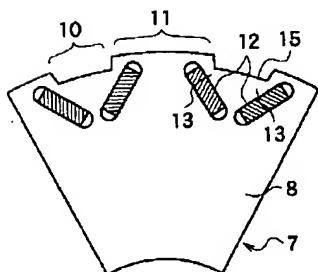
【図2】



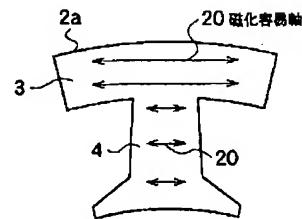
【図3】



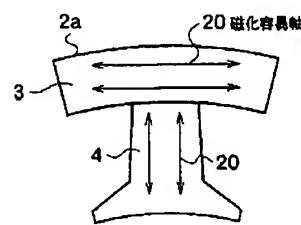
【図4】



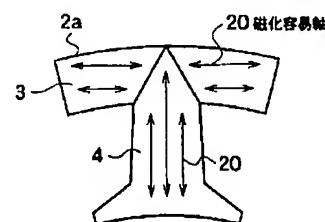
【図5】



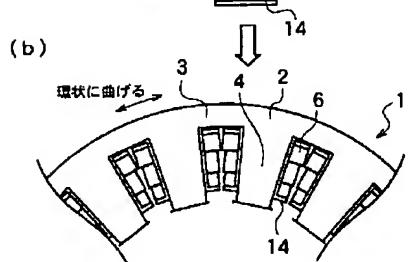
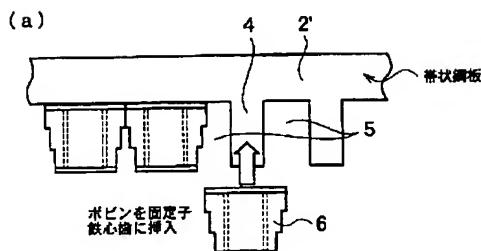
【図6】



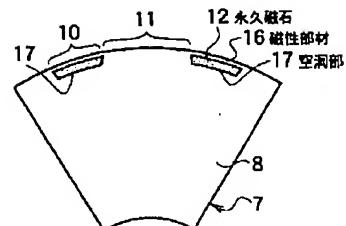
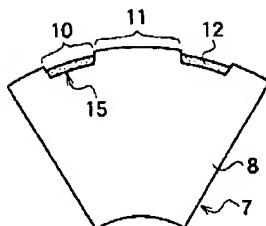
【図7】



【図8】

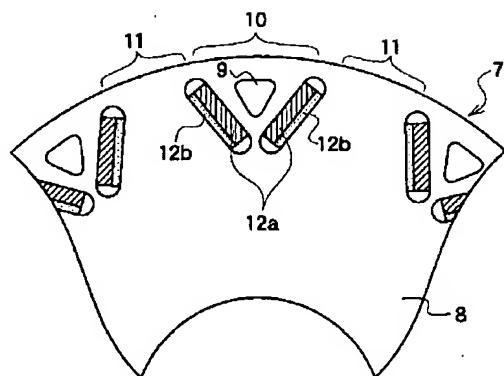
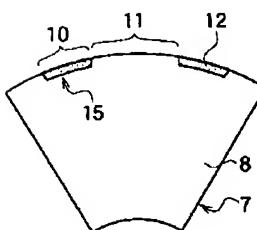


【図9】



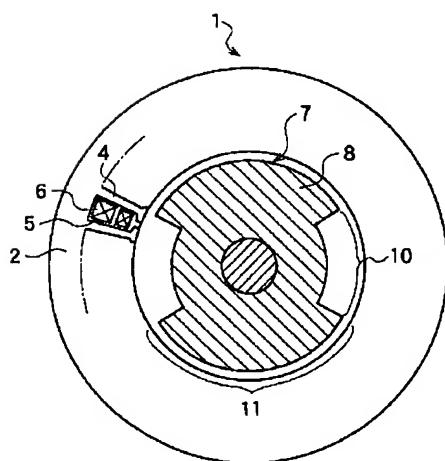
【図10】

【図11】



【図12】

【図13】



フロントページの続き

|                                     |             |               |   |
|-------------------------------------|-------------|---------------|---|
| (51) Int.Cl. <sup>7</sup><br>H 02 K | 識別記号<br>501 | F I<br>H 02 K | テ-マコード (参考)<br>501K 5H622<br>501C<br>501M |
| 1/27                                |             | 1/27          |   |
| 3/18                                |             | 3/18          | P   |
| 15/06                               |             | 15/06         |   |
| 21/16                               |             | 21/16         | M   |

(72) 発明者 服部 伴之  
神奈川県横浜市鶴見区末広町2丁目4番地  
株式会社東芝京浜事業所内

F ターム(参考) 5H002 AA01 AA09 AB06 AB07 AE08  
5H603 AA09 BB01 BB09 BB12 CA01  
CA05 CB02 CC11 CC17 CD21  
CD22 CE01  
5H615 AA01 BB01 BB07 BB14 PP01  
PP10 PP13 QQ02 QQ12 QQ19  
SS05 TT04 TT05  
5H619 AA01 AA10 BB01 BB06 BB24  
PP01 PP02 PP04 PP06 PP08  
PP14  
5H621 AA03 BB07 GA16 GA18 HH01  
5H622 AA03 CA02 CA05 CA07 CA10  
CA14 CB05 PP03 PP07 PP10